

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-73738

(43) 公開日 平成10年(1998) 3月17日

| (51) Int.Cl. <sup>8</sup>           | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I          | 技術表示箇所 |
|-------------------------------------|------|--------|--------------|--------|
| G 0 2 B 6/16                        |      |        | G 0 2 B 6/16 |        |
|                                     |      |        | 6/10         | C      |
| H 0 4 B 10/02                       |      |        | H 0 4 B 9/00 | M      |
|                                     |      |        |              | E      |
| H 0 4 J 14/00                       |      |        |              | Q      |
| 審査請求 未請求 請求項の数 2 F D (全 9 頁) 最終頁に続く |      |        |              |        |

(21) 出願番号 特願平9-180557

(22) 出願日 平成9年(1997) 6月20日

(31) 優先権主張番号 特願平8-181599

(32) 優先日 平8(1996) 6月21日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72) 発明者 赤坂 洋一

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(72) 発明者 杉崎 隆一

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

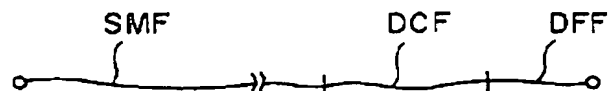
(74) 代理人 弁理士 五十嵐 清

(54) 【発明の名称】 光伝送用波長多重通信リンク

(57) 【要約】

【課題】 本発明は既設の1300nm零分散シングルモードファイバ網を用いて波長1550nm帯での超高速大容量波長多重通信を可能にする光伝送用波長多重通信リンクを提供する。

【解決手段】 既設の1300nm零分散シングルモードファイバ網のシングルモードファイバSMFに波長1550nm帯で負の分散値をもつ分散補償ファイバDCFが前記シングルモードファイバSMFの分散スロープを零に補償する条長をもって接続される。そして、シングルモードファイバSMFと分散補償ファイバDCFとの接続リンクの終端に分散スロープを零とする分散フラットファイバが残留する分散値を零とする条長をもって接続され、分散フラットファイバDFFの終端においてシングルモードファイバSMFの分散スロープおよび分散値が共に零に調整される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光伝送波長1300nm帯で零分散をもつ1300nm帯零分散シングルモードファイバ網のシングルモードファイバに波長1550nm帯で負の分散値をもつ分散補償ファイバを接続して光伝送波長1550nm帯での分散を補償する光伝送システムにおいて、前記シングルモードファイバの波長1550nm帯での分散スロープを $S_{SMF}$ 、分散値を $D_{SMF}$ 、条長を $L_{SMF}$ 、前記分散補償ファイバの波長1550nm帯での分散スロープを $S_{DCF}$ 、分散値を $D_{DCF}$ 、条長を $L_{DCF}$ としたとき、 $S_{SMF} \times L_{SMF} + S_{DCF} \times L_{DCF} = 0$ の関係を満たす条長 $L_{DCF}$ の分散補償ファイバが前記シングルモードファイバに接続され、さらに、波長1550nm帯での分散スロープをほぼ零、分散値を $D_{DFF}$ とする分散フラットファイバが $D_{SMF} \times L_{SMF} + D_{DCF} \times L_{DCF} + D_{DFF} \times L_{DFF} = 0$ の関係を満たす条長 $L_{DFF}$ をもって接続されていることを特徴とする光伝送用波長多重通信リンク。

【請求項2】 光伝送波長1300nm帯で零分散をもつ1300nm帯零分散シングルモードファイバ網のシングルモードファイバに分散補償ファイバを接続して光伝送波長1550nm帯での分散を補償する光伝送システムにおいて、前記シングルモードファイバの波長1550nm帯での分散スロープを $S_{SMF}$ 、分散値を $D_{SMF}$ 、条長を $L_{SMF}$ 、前記分散補償ファイバの波長1550nm帯での分散スロープを $S_{DCF}$ 、分散値を $D_{DCF}$ 、条長を $L_{DCF}$ としたとき、 $S_{SMF} \times L_{SMF} + S_{DCF} \times L_{DCF} = 0$ の関係を満たす条長 $L_{DCF}$ の分散補償ファイバが前記シングルモードファイバに接続され、さらに波長1550nm帯での分散スロープを $S_{DSF}$ 、分散値をほぼ零とする分散シフトファイバが $S_{SMF} \times L_{SMF} + S_{DCF} \times L_{DCF} + S_{DSF} \times L_{DSF} = 0$ の関係を満たす条長 $L_{DSF}$ をもって接続されていることを特徴とする光伝送用波長多重通信リンク。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、特に、超高速大容量光多重伝送に適した光伝送用波長多重通信リンクに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】光伝送システムのファイバネットワークとして、1300nm帯零分散シングルモードファイバ網が知られている。このファイバネットワークは、波長1300nmの光信号を伝送することによって、受信側でほぼ零分散の受信信号が得られるものである。

【0003】最近においては、この既設の1300nm帯零分散シングルモードファイバ網を用い、光伝送路に介設されるエルビウムドープファイバ増幅器EDFAの励起帯である波長1550nm近辺の波長帯での光伝送が試みられており、さらなる高速大容量伝送を目指し、1550nm近辺の広い波長帯で、波長多重伝送(WDM)を行うことが盛んに検討されている。

【0004】既設の1300nm帯零分散シングルモードファイバ網のシングルモードファイバは正の分散値と、波長が大きくなるにつれ分散量が大きくなる正の分散スロープ特性とを有している。したがって、既設の1300nm帯零分散シングルモードファイバ網を用いて1550nm波長帯で波長多重伝送を行うと、シングルモードファイバの伝送距離が長くなるにつれ分散量が大きくなるために、多重伝送された各波長の信号の分離が困難になり、信頼性の高い波長多重伝送が行えなくなるといった問題が生じる。このことから、通常は、シングルモードファイバに大きな負の分散値と負の分散スロープ特性を有する分散補償ファイバを接続した通信リンク(伝送リンク)を用いて波長多重伝送を行うことが試みられている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】既設の1300nm帯零分散シングルモードファイバ網を用いて波長多重伝送を行う場合、前記のエルビウムドープファイバ増幅器の励起帯である1.55 $\mu$ mの波長帯で通信が行われるが、例えば、1530nm～1560nmまでの波長帯で波長多重伝送を行うと、最大で30nm $\times$ 分散スロープ $\times$ 光ファイバ長だけの分散格差が波長多重信号光間で生じ、伝送容量が分散による制限を受け、高速大容量波長多重伝送の支障となる。

【0006】このような波長分散を抑制するために、既設の1300nm帯零分散シングルモードファイバ網のシングルモードファイバに分散補償ファイバを接続する場合、中心信号波長の分散を全長で零になるように調整すると、分散補償ファイバの分散値と分散スロープの値は接続相手側のシングルモードファイバの分散値および分散スロープの値に1対1に対応したただ1つの値となってしまう。現実には、既設の1300nm帯零分散シングルモードファイバ網で使用されている各シングルモードファイバの分散値および分散スロープは個々にばらついており、これらのばらついたシングルモードファイバの分散を補償するためには、それぞれのシングルモードファイバ1本毎に適合する分散補償ファイバを作製して接続しなければならず、現実には、その実現は非常に困難である。

【0007】シングルモードファイバの分散と分散スロープを完全に同時に補償するためには、シングルモードファイバの分散を $D_{SMF}$ 、シングルモードファイバの分散スロープを $S_{SMF}$ 、分散補償ファイバの分散値を $D_{DCF}$ 、分散スロープを $S_{DCF}$ としたとき、 $D_{SMF} / S_{SMF} = D_{DCF} / S_{DCF}$ の関係を満たすことが必要となる。一般に、この条件を満たすように分散補償ファイバを作製することは極めて難しく、現実には、既設の1300nm帯零分散シングルモードファイバ網に使用されている各シングルモードファイバの分散と分散スロープを完全に同時に補償することは極めて困難であり、このことが1550nm近辺の波長帯を用いた超高速大容量波長多重伝送を行う上で障害となっている。

【0008】本発明は上記課題を解決するためになされたものであり、その目的は、既設の1300nm帯零分散シングルモードファイバ網で使用されているシングルモードファイバの分散と分散スロープを1550nmの波長帯で完全に容易に補償することができ、1550nm波長帯での超高速大容量光多重伝送が可能な光伝送用波長多重通信リンクを提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】前記の如く、シングルモードファイバの分散と分散スロープを同時に完全に補償するファイバを作製することは難しいが、分散値か分散スロープの値だけを零にすることは、分散値あるいは分散スロープを補償するファイバの条長を合わせることで非常に容易に調整することができる。本発明者はこの点に着目し、シングルモードファイバの分散値と分散スロープを2段階構成によって補償しようとするものである。すなわち、まず、第1段階として、シングルモードファイバに第1段の分散補償ファイバが接続され、その条長を調整して分散値か分散スロープのいずれか一方が零に調整される。次に、第2段の補償用ファイバが接続され、その条長を調整することで、前記第1段の分散補償ファイバにより分散値が零に調整されたリンクでは残留した分散スロープと逆の分散スロープ特性を有する分散シフトファイバにより分散スロープが零に補償される。前記第1段の分散補償ファイバにより分散スロープが零に調整されたリンクでは、分散スロープが零で分散値が一定の値をもつ分散フラットファイバにより分散値が零に調整される。このように、本発明はシングルモードファイバの分散値と分散スロープを共に補償することを目的とするものである。

【0010】本発明は上記目的を達成するために、次のような手段を講じている。すなわち、第1の発明は、光伝送波長1300nm帯で零分散をもつ1300nm帯零分散シングルモードファイバ網のシングルモードファイバに波長1550nm帯で負の分散値をもつ分散補償ファイバを接続して光伝送波長1550nm帯での分散を補償する光伝送システムにおいて、前記シングルモードファイバの波長1550nm帯での分散スロープを $S_{SMF}$ 、分散値を $D_{SMF}$ 、条長を $L_{SMF}$ 、前記分散補償ファイバの波長1550nm帯での分散スロープを $S_{DCF}$ 、分散値を $D_{DCF}$ 、条長を $L_{DCF}$ としたとき、 $ほぼ S_{SMF} \times L_{SMF} \div |D_{DCF}| = L_{DCF}$  の関係を満たす条長 $L_{DCF}$ の分散補償ファイバが前記シングルモードファイバに接続され、さらに、波長1550nm帯での分散スロープをほぼ零、分散値を $D_{DFF}$ とする分散フラットファイバが $ほぼ D_{SMF} \times L_{SMF} + D_{DCF} \times L_{DCF} + D_{DFF} \times L_{DFF} = 0$  の関係を満たす条長 $L_{DFF}$ をもって接続されている構成をもって課題を解決する手段としている。

【0011】また、第2の発明は、光伝送波長1300nm帯で零分散をもつ1300nm帯零分散シングルモードファイバ

網のシングルモードファイバに分散補償ファイバを接続して光伝送波長1550nm帯での分散を補償する光伝送システムにおいて、前記シングルモードファイバの波長1550nm帯での分散スロープを $S_{SMF}$ 、分散値を $D_{SMF}$ 、条長を $L_{SMF}$ 、前記分散補償ファイバの波長1550nm帯での分散スロープを $S_{DCF}$ 、分散値を $D_{DCF}$ 、条長を $L_{DCF}$ としたとき、 $ほぼ D_{SMF} \times L_{SMF} \div |D_{DCF}| = L_{DCF}$  の関係を満たす条長 $L_{DCF}$ の分散補償ファイバが前記シングルモードファイバに接続され、さらに波長1550nm帯での分散スロープを $S_{DSF}$ 、分散値をほぼ零とする分散シフトファイバが $ほぼ S_{SMF} \times L_{SMF} + S_{DCF} \times L_{DCF} + S_{DSF} \times L_{DSF} = 0$  の関係を満たす条長 $L_{DSF}$ をもって接続されている構成をもって課題を解決する手段としている。

【0012】上記第1の発明では、条長 $L_{DCF}$ の分散補償ファイバがシングルモードファイバに接続されることで、分散スロープが零に補償される。次に、このシングルモードファイバと分散補償ファイバが接続されたリンクに分散スロープが零（ほぼ零を含む）、分散値を $D_{DFF}$ とする分散フラットファイバを接続し、この分散フラットファイバの条長が $L_{DFF}$ に調整されることで、残留した分散値が零（ほぼ零を含む）に補償され、前記分散補償ファイバと分散フラットファイバの条長調整によりシングルモードファイバの分散値と分散スロープが共に補償されることとなって前記従来の課題が解決される。

【0013】第2の発明では、シングルモードファイバに条長 $L_{DCF}$ の分散補償ファイバが接続され、その条長調整により分散値が零（ほぼ零を含む）に補償される。次に、シングルモードファイバと分散補償ファイバが接続されたリンクに分散値が零（ほぼ零を含む）の分散シフトファイバが接続され、その条長調整により、残留する分散スロープが零（ほぼ零を含む）に補償される。このように、シングルモードファイバに分散補償ファイバと分散シフトファイバが接続され、それぞれの条長が調整されることで、シングルモードファイバの分散値と分散スロープが共に零（ほぼ零を含む）に補償されることとなって、前記従来の課題が解決される。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態例を説明する。図1は第1の発明の一実施形態例を示すものである。この実施形態例の通信リンクは、既設の1300nm帯零分散シングルモードファイバ網のシングルモードファイバ $S_{SMF}$ に波長1550nm帯で負の分散値をもつ分散補償ファイバ $D_{DCF}$ を接続し、さらにその後波長1550nm帯での分散スロープが零（ほぼ零を含む）の分散フラットファイバ $D_{DFF}$ を接続したリンクとしたものである。

【0015】前記シングルモードファイバ $S_{SMF}$ の波長1550nm帯での分散スロープを $S_{SMF}$ 、分散値を $D_{SMF}$ 、条長を $L_{SMF}$ とし、分散補償ファイバ $D_{DCF}$ の波長1550

nm帯での分散スロープを $S_{DCF}$ 、分散値を $D_{DCF}$ 、条長を $L_{DCF}$ としたとき、次の(1)式をほぼ満たすように分散補償ファイバDCFの条長 $L_{DCF}$ が調整される。

【0016】

$$S_{SMF} \times L_{SMF} / |S_{DCF}| = L_{DCF} \dots (1)$$

【0017】この条長 $L_{DCF}$ の調整により、シングルモードファイバSMFの分散スロープは零（ほぼ零を含む）

$$D_{SMF} \times L_{SMF} + D_{DCF} \times L_{DCF} + D_{DFF} \times L_{DFF} = 0 \dots (2)$$

【0020】この(2)式の関係をほぼ満たすように条長 $L_{DFF}$ を調整して分散フラットファイバDFFをシングルモードファイバSMFと分散補償ファイバDCFの接続リンクに接続することにより、残留する分散値が零（ほぼ零を含む）に補償され、分散フラットファイバDFFの終端からは分散値と分散スロープが共に零に補償された信号が取り出される。

【0021】なお、この第1の発明において、シングルモードファイバSMFの終端側と分散補償ファイバDCFと分散フラットファイバDFFはそれぞれ別個のリールに巻かれて、それぞれのリールは同軸状に重ねて置かれるかあるいは同一平面（例えば床面）に並べて置かれる。また、シングルモードファイバSMFと分散補償ファイバDCFと分散フラットファイバDFFの接続は融着により接続されている。

【0022】図2は第2の発明の一実施形態例を示すものである。この実施形態例は、既設の1300nm帯分散シングルモードファイバ網のシングルモードファイバSMFに波長1550nm帯で正又は負の分散値をもつ分散補償ファイバDCFを接続し、さらにこの分散補償ファイバDCFに波長1550nm帯での分散値が零（ほぼ零を含む）の分散シフトファイバDSFを接続したものである。

$$S_{SMF} \times L_{SMF} + S_{DCF} \times L_{DCF} + S_{DSF} \times L_{DSF} = 0 \dots (4)$$

【0028】この(4)式をほぼ満たすように分散シフトファイバDSFの条長 $L_{DSF}$ を調整することにより、シングルモードファイバSMFと分散補償ファイバDCFのリンクに残留する分散スロープが零（ほぼ零を含む）に補償される。この結果、分散シフトファイバDSFの終端においては、シングルモードファイバSMFの分散値と分散スロープが共に零（ほぼ零を含む）に補償された信号が取り出されることになる。

【0029】なお、この第2の発明においても、シングルモードファイバSMFの終端側と分散補償ファイバDCFと分散シフトファイバDSFはそれぞれ別個のリールに巻かれて、それぞれのリールは同軸状に重ねて置かれるかあるいは同一平面（例えば床面）に並べて置かれる。また、シングルモードファイバSMFと分散補償ファイバDCFと分散シフトファイバDSFの接続は融着により接続されている。

【0030】

【実施例】

（実施例1）この実施例は第1の発明に対応するもの

む）に調整され、分散値が残留した状態となる。

【0018】次に、分散フラットファイバDFFの波長1550nm帯での分散スロープを零（ほぼ零を含む）、分散値を $D_{DFF}$ としたとき、分散フラットファイバDFFの条長 $L_{DFF}$ が次の(2)の式をほぼ満足するように調整する。

【0019】

【0023】前記シングルモードファイバのSMFの波長1550nm帯での分散スロープを $S_{SMF}$ 、分散値を $D_{SMF}$ 、条長を $L_{SMF}$ とし、前記分散補償ファイバの波長1550nm帯での分散スロープを $S_{DCF}$ 、分散値を $D_{DCF}$ 、条長を $L_{DCF}$ としたとき、次の(3)式をほぼ満たすように分散補償ファイバDCFの条長 $L_{DCF}$ が調整される。

【0024】

$$D_{SMF} \times L_{SMF} / |D_{DCF}| = L_{DCF} \dots (3)$$

【0025】この(3)式の関係を満たすように分散補償ファイバDCFの条長 $L_{DCF}$ を調整することにより、シングルモードファイバSMFの分散値が零（ほぼ零を含む）に補償され、分散スロープが残留した状態となる。

【0026】次に、分散シフトファイバDSFの波長1550nm帯での分散スロープを $S_{DSF}$ 、分散値を零（ほぼ零を含む）、条長を $L_{DSF}$ としたとき、次の(4)式をほぼ満たすように分散シフトファイバDSFの条長 $L_{DSF}$ が調整されて分散補償ファイバDCFの終端にこの分散シフトファイバDSFが接続される。

【0027】

で、図1に示すように既設の1300nm帯分散シングルモードファイバ網のシングルモードファイバSMFに分散補償ファイバDCFと分散フラットファイバDFFが接続されている。波長1550nmでシングルモードファイバSMFの分散値 $D_{SMF}$ は17ps/nm・kmであり、波長1550nm帯での分散スロープ $D_{SMF}$ は0.058 ps/nm<sup>2</sup>・kmであり、条長 $L_{SMF}$ は42kmである。

【0031】また、分散補償ファイバDCFの波長1550nm帯での分散値 $D_{DCF}$ は-102 ps/nm・kmで、波長1550nm帯での分散スロープ $S_{DCF}$ は-0.406 ps/nm<sup>2</sup>・kmであり、条長 $L_{DCF}$ は6kmである。また、分散フラットファイバDFFの波長1550nm帯での分散値 $D_{DFF}$ は-6 ps/nm・kmであり、波長1550nm帯での分散スロープは零であり、条長 $L_{DFF}$ は17kmである。

【0032】前記(1)式に $S_{SMF} = 0.058$  ps/nm<sup>2</sup>・km、 $L_{SMF} = 42$ km、 $S_{DCF} = -0.406$  ps/nm<sup>2</sup>・kmを代入すると、 $L_{DCF} = 6.0$  kmとなり、分散補償ファイバDCFの条長 $L_{DCF}$ は前記(1)式を満足している。

【0033】波長1550nm帯の波長1530nm～1560nmで波長

多重通信を行う場合、基準波長の分散値を $D_0$ 、その波長帯での分散スロープを $S_0$ としたとき、基準波長 $F$ から $\Delta F$ だけずれた波長 $F'$ の分散値 $D'$ は $D' = D_0 + S_0 (F' - F)$ で表される( $\Delta F = F' - F$ )ことから、シングルモードファイバSMFの波長1530nmでの分散値は15.84 ps/nm・kmであり、波長1560nmでの分散値は17.58 ps/nm・kmとなり、シングルモードファイバSMFの条長42kmを伝搬することによる分散値は波長1530nmでは665.28ps/nmとなり、波長1550nmでは714.00ps/nmとなり、波長1560nmでは738.36ps/nmとなる。

【0034】分散補償ファイバDCFの波長1530nmでの分散値は-93.88 ps/nm・kmであり、波長1560nmでは-106.06ps/nm・kmであるから、条長6km伝搬した後の分散値は、波長1530nmでは-563.28ps/nmとなり、波長1550nmでは-612.00ps/nmとなり、波長1560nmでは-636.36ps/nmとなる。

【0035】したがって、42kmのシングルモードファイバSMFと6kmの分散補償ファイバDCFとを伝搬した終端での分散値は1530nm～1560nmの波長帯で一定の102.

00ps/nmとなり、分散値が一定の値(102.00ps/nm)にフラット化され、かつ、分散スロープは零に調整される。

【0036】このシングルモードファイバSMFと分散補償ファイバDCFの接続リンクに接続される分散フラットファイバDFFの波長1550nm帯での分散スロープが零で、波長1550nmでの分散値が-6ps/nm・kmであるから、条長17kmを伝搬する各波長(1530nm～1560nm)の分散値はいずれも-102.00ps/nmとなる。この結果、分散補償ファイバDCFの端末終端に残留していた1550nm帯での各波長の分散値102.00ps/nmは分散フラットファイバDFFの全長17km間で生じる分散値-102.00ps/nmによって完全に補償され、分散フラットファイバDFFの終端では波長1550nm帯で分散スロープと分散値が共に零になる信号が取り出される。これら、各ファイバ伝搬時の分散値の計算結果は表1に示す。

【0037】

【表1】

| 波長<br>nm | SMF<br>(ps/nm) | DCF<br>(ps/nm) | SMF+DCF<br>(ps/nm) | DFF<br>(ps/nm) | SMF+DCF<br>+DFF (ps/nm) |
|----------|----------------|----------------|--------------------|----------------|-------------------------|
| 1530     | 665.28         | -563.28        | 102.00             | -102.00        | 0                       |
| 1550     | 714.00         | -612.00        | 102.00             | -102.00        | 0                       |
| 1560     | 738.36         | -636.36        | 102.00             | -102.00        | 0                       |

【0038】なお、前記(2)式に $D_{SMF}$ 、 $L_{SMF}$ 、 $D_{DCF}$ 、 $L_{DCF}$ 、 $D_{DFF}$ 、 $L_{DFF}$ の値を各波長1530nm、1550nm、1560nm毎にそれぞれの値を代入して計算すると、いずれの波長においても、左辺の演算結果はいずれも零となり、前記(2)式を満足していることが確認できる。

【0039】(実施例2)この実施例も第1の発明に対応するもので、前記実施例1と同様な波長1550nmで17ps/nm・kmの分散 $D_{SMF}$ と、同じく波長1550nm帯で0.058ps/nm<sup>2</sup>・kmの分散スロープ $S_{SMF}$ をもつ条長 $L_{SMF}$ が42kmのシングルモードファイバSMFに波長1550nmで分散値 $D_{DCF}$ が-102ps/nm・kmで、その波長帯の分散スロープ $S_{DCF}$ が-0.290ps/nm<sup>2</sup>・kmの分散補償ファイバDCFが前記シングルモードファイバSMFの分散スロープが零になるように8.4kmの条長 $L_{DCF}$ で接続され、さらに、その終端に、波長1550nm帯での分散スロープ $S_{DFF}$ が零で、波長1550nmでの分散値 $D_{DFF}$ が10ps/nm・kmの分散フラットファイバDFFが接続されてい

る。この実施例においても、前記(1)式に $S_{SMF} = 0.058\text{ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 、 $L_{SMF} = 42\text{km}$ 、 $S_{DCF} = -0.290\text{ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ の値を代入することにより、 $L_{DCF} = 8.4\text{km}$ となり、前記(1)式が十分に満足されている。また、

(2)式の左辺に $D_{SMF}$ の値として波長1530nmでは15.84ps/nm・km、波長1550nmでは17ps/nm・km、波長1560nmでは17.58ps/nm・kmの値をそれぞれ代入し、また、 $L_{SMF} = 42\text{km}$ 、 $D_{DCF}$ の値として波長1530nmでは-96.2ps/nm・km、波長1550nmでは-102.0ps/nm・km、波長1560nmでは-104.9ps/nm・kmの値をそれぞれ代入し、さらに $L_{DCF} = 8.4\text{km}$ 、 $D_{DFF} = 10\text{ps/nm} \cdot \text{km}$ 、 $L_{DFF} = 14.28\text{km}$ をそれぞれ代入することにより、各波長において左辺の計算値は零となり、前記(2)式が十分に満足されている。この実施例2の各ファイバ伝搬時の分散の計算結果は表2に示す。

【0040】

【表2】

| 波長<br>nm | SMF<br>(ps/nm) | DCF<br>(ps/nm) | SMF+DCF<br>(ps/nm) | DSF<br>(ps/nm) | SMF+DCF<br>+DSF (ps/nm) |
|----------|----------------|----------------|--------------------|----------------|-------------------------|
| 1530     | 665.28         | -808.08        | -142.80            | 142.80         | 0                       |
| 1550     | 714.00         | -856.80        | -142.80            | 142.80         | 0                       |
| 1560     | 738.36         | -881.16        | -142.80            | 142.80         | 0                       |

【0041】この実施例においても、分散フラットファイバDSFの終端で、分散および分散スロープが1550nmの波長帯で零となる信号が取り出されることが確認される。

【0042】（実施例3）この実施例は第2の発明に対応するもので、既設の1300nm帯零分散シングルモードファイバ網の波長1550nmで分散値 $D_{SMF} = 17\text{ps/nm} \cdot \text{km}$ 、波長1550nm帯での分散スロープ $S_{SMF} = 0.058\text{ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ をもつ条長 $L_{SMF} = 42\text{km}$ のシングルモードファイバSMFに波長1550nmで分散値 $D_{DCF} = -102\text{ps/nm} \cdot \text{km}$ 、波長1550nm帯での分散スロープ $S_{DCF} = -0.406\text{ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ をもつ分散補償ファイバDCFが分散値を零にするように条長 $L_{DCF} = 7\text{km}$ でもって接続され、さらにその終端に波長1550nm帯での分散スロープ $D_{DSF} = 0.08\text{ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 、波長1550nmでの分散値 $D_{DSF} = 0\text{ps/nm} \cdot \text{km}$ の分散シフトファイバDSFが条長 $L_{DSF} = 5.075\text{km}$ となるように接続されている。

【0043】波長1550nmを基準とし、前記(3)式に $D_{SMF} = 17\text{ps/nm} \cdot \text{km}$ 、 $L_{SMF} = 42\text{km}$ 、 $D_{DCF} = -102\text{ps/nm} \cdot \text{km}$ を代入することにより、(3)式の左辺の計算値は $L_{DCF} = 7.0\text{km}$ となり、(3)式の条件が満たされている。なお、シングルモードファイバSMFの分散値は波長1530nmでは、 $D_{SMF} = 15.84\text{ps/nm} \cdot \text{km}$ であり、分散補償ファイバDCFの波長1530nmでの分散は $-93.8\text{ps/nm} \cdot \text{km}$ となり、これを(3)式に代入すると、分

散補償ファイバの条長 $L_{DCF}$ は7.086kmとなる。また、波長1560nmにおけるシングルモードファイバSMFの分散値 $D_{SMF}$ は $17.58\text{ps/nm} \cdot \text{km}$ であり、同じく波長1560nmにおける分散補償ファイバの分散値 $D_{DCF}$ は $-106.06\text{ps/nm} \cdot \text{km}$ となり、これらの値を(3)式に代入することにより、波長1560nmにおける分散補償ファイバDCFの条長 $L_{DCF} = 6.962\text{km}$ となり、波長1530nmおよび1560nmにおいても、(3)式で得られる分散補償ファイバDCFの条長 $L_{DCF}$ は約7kmとなり、波長1530nm～1560nmにおける各波長においても、前記(3)式が満足されている。

【0044】また、(4)式に $S_{SMF} = 0.058\text{ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 、 $L_{SMF} = 42\text{km}$ 、 $S_{DCF} = -0.406\text{ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 、 $L_{DCF} = 7\text{km}$ 、 $S_{DSF} = 0.08\text{ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 、 $L_{DSF} = 5.075\text{km}$ をそれぞれ代入することにより、その演算値は零となり、(4)式が満足されている。

【0045】なお、この実施例3における各ファイバ伝搬時の分散値を求めると、表3のようになり、分散シフトファイバDSFの終端において、分散値および分散スロープが共に零となり、シングルモードファイバSMFの分散値および分散スロープが共に補償されていることが実証される。

【0046】

【表3】

| 波長<br>nm | SMF<br>(ps/nm) | DCF<br>(ps/nm) | SMF+DCF<br>(ps/nm) | DSF<br>(ps/nm) | SMF+DCF<br>+DSF (ps/nm) |
|----------|----------------|----------------|--------------------|----------------|-------------------------|
| 1530     | 665.28         | -657.16        | 8.12               | -8.12          | 0                       |
| 1550     | 714.00         | -714.00        | 0                  | 0              | 0                       |
| 1560     | 738.36         | -742.42        | -4.06              | 4.06           | 0                       |

【0047】（実施例4）この実施例も第2の発明に対応するもので、既設の1300nm帯零分散シングルモードファイバ網のシングルモードファイバSMFは波長1550nmで分散値 $D_{SMF} = 17\text{ps/nm} \cdot \text{km}$ 、波長1550nm帯での分散スロープ $S_{SMF} = 0.058\text{ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 、条長 $L_{SMF} = 42$

kmであり、このシングルモードファイバSMFに、波長1550nmでの分散値が $D_{DCF} = -102\text{ps/nm} \cdot \text{km}$ で、分散スロープ $S_{DCF} = -0.290\text{ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ の分散補償ファイバDCFが終端で分散値が零になるように条長 $L_{DCF} = 7\text{km}$ でもって接続され、さらにその分散補償ファイバ

DCFの終端に波長1550nm帯での分散スロープ $S_{DSF} = -0.1 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ で、波長1550nmでの分散値 $D_{DSF} = 0 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ の分散シフトファイバDSFが長さ $L_{DSF} = 4.06 \text{ km}$ をもって接続した伝送リンクが得られている。

【0048】この実施例4において、前記(3)式に、 $D_{SMF} = 17 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ 、 $L_{SMF} = 42 \text{ km}$ 、 $D_{DCF} = -102 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ を代入することにより、波長1550nmにおける分散値が零になるための分散補償ファイバDCFの長さ $L_{DCF}$ は7kmとなり、前記(3)式を満足している。また、波長1530nmにおいては、 $D_{SMF} = 15.84 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ 、 $D_{DCF} = -96.2 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ を代入することにより、

(3)式で求められる長さ $L_{DCF}$ は6.916 kmとなり、また、波長1560nmにおいては $D_{SMF} = 17.58 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ 、 $D_{DCF} = -104.9 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ となり、これを前記(3)式に代入することにより、長さ $L_{DCF} = 7.039 \text{ km}$ となり、波長1530nmおよび1560nmのいずれにおいても、

(3)式により求められる長さ $L_{DCF}$ はいずれも波長1550nmにおける長さとはほぼ等しい7kmとなり、波長1550nm帯における各波長について求められる長さ $L_{DCF}$ はほぼ(3)式を満足している。

【0049】また、 $S_{SMF} = 0.058 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 、 $L_{SMF} = 42 \text{ km}$ 、 $S_{DCF} = -0.290 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 、 $L_{DCF} = 7 \text{ km}$ 、 $S_{DSF} = -0.1 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 、 $L_{DSF} = 4.06 \text{ km}$ を代入することにより、(4)式の左辺の計算結果は零となり、前記(4)式を満足している。なお、この実施例における各ファイバ伝搬時の分散の計算値は表4に示すものとなり、分散シフトファイバDSFの終端においては、分散スロープおよび分散値が共に零となり、シングルモードファイバSMFの分散値および分散スロープが共に零に補償されていることが確認できる。

【0050】

【表4】

| 波長<br>nm | SMF<br>(ps/nm) | DCF<br>(ps/nm) | SMF+DCF<br>(ps/nm) | DSF<br>(ps/nm) | SMF+DCF<br>+DSF (ps/nm) |
|----------|----------------|----------------|--------------------|----------------|-------------------------|
| 1530     | 665.28         | -673.40        | -8.12              | 8.12           | 0                       |
| 1550     | 714.00         | -714.00        | 0                  | 0              | 0                       |
| 1560     | 738.36         | -734.30        | 4.06               | -4.06          | 0                       |

【0051】上記シングルモードファイバSMFのみの光伝送路は、波長1550nmで $17 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ の分散をもち、波長1550nm帯で $0.058 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ の分散スロープをもつので、長さ1km当り波長1530nmでは $15.84 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ の分散値をもち、波長1560nmでは $17.58 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ の分散値をもち、したがって、1530nmと1560nmの2波長間での分散の差は $1.74 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ の大きな値となり、かつ、それぞれの波長で大きな分散値をもつことから、この分散により信号容量が大きな制限を受けることになる。

【0052】また、前記特性のシングルモードファイバSMFに波長1550nmでの分散値が例えば $-85 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ の値をもち、波長1550nm帯での分散スロープが $0.11 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ の分散補償ファイバDCFを接続した、トータル分散値 $0 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ で、分散スロープが $0.08 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ の光伝送リンクでは、波長1530nmと1560nmの信号間に $2.4 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ の分散値の差が長さ1km当り生じ、同様に伝送容量に制限を受けることになる。

【0053】これに対し、本発明における前記各実施例においては、シングルモードファイバに分散補償ファイ

$$B^3 L^3 D \leq 1.5 \times 10^{10} \times Z^2 \exp(-\alpha Z) / \{1 - \exp(-\alpha Z)\} \dots \quad (5)$$

【0056】この式で、Bは光伝送速度、Lは光ファイバの長さ(伝送路長)、Dはファイバの分散値、Zは中継間隔、 $\alpha$ は伝送路損失である。

バを接続して分散スロープと分散値のいずれか一方を零(ほぼ零を含む)に補償し、さらに分散シフトファイバを接続して、その零に補償された分散スロープ又は分散値を零に保ったまま残留する分散値又は分散スロープを零に補償するので、分散シフトファイバの終端における分散値および分散スロープは1550nm波長帯の各波長において零となり、したがって、各波長間の分散値の差は零となり、これにより、分散による伝送容量の制限を受けることなく、超高速大容量波長多重光通信が可能となる。

【0054】なお、信号光ノイズ比(SNR)を高めるためには、例えば、信号パワー $P_S$ を大きくすればよいが、信号パワー $P_S$ を大きくすると、光ファイバの非線形効果である自己位相変調SPM(Self-Phase Modulation)によるスペクトル拡がりファイバの分散と関連して波形劣化を引き起こすという問題が生じる。この自己位相変調が問題となる場合の分散限界は次の(5)式で与えられる。

【0055】

【0057】この(5)式を用いて計算すると、波長分散 $3 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ で、中継距離にて波長多重通信容量に限界が生じてしまうが、本発明では、前記実施形態例および

実施例において示したように、波長分散および分散スロープが共に零（ほぼ零を含む）に補償されるため、前記（５）式で $D \approx 0$ となり、伝送路長 $L$ の如何にかかわらず（５）式を満足し、自己位相変調に起因する分散限界による影響を回避できるという効果が得られることになる。

【００５８】なお、本発明は上記実施形態例および実施例に限定されることはなく、様々な実施の形態を採り得る。例えば、上記第１の発明の実施形態例および実施例では、シングルモードファイバSMFに分散補償ファイバDCFを接続し、さらにこの接続リンクに分散フラットファイバDFFを接続したが、分散補償ファイバと分散フラットファイバの接続順序は逆にしてもよい。

【００５９】また、第２の発明の実施形態例およびその実施例では、シングルモードファイバSMFに分散補償ファイバDCFを接続し、さらにこの接続リンクに分散シフトファイバDSFを接続したが、分散補償ファイバDCFと分散シフトファイバDSFの接続順序は逆にしてもよい。

#### 【００６０】

【発明の効果】第１の発明は、既設の1300nm帯零分散シングルモードファイバ網のシングルモードファイバに分散スロープが零（ほぼ零を含む）となるような条長でもって分散補償ファイバを接続し、さらにこのシングルモードファイバと分散補償ファイバとの接続リンクに分散スロープが零（ほぼ零を含む）であって、前記分散補償ファイバの接続終端に残留する分散を零（ほぼ零を含む）となる条長でもって分散フラットファイバを接続して分散を零（ほぼ零を含む）に補償し、シングルモードファイバの分散スロープと分散値をトータル的に零（ほぼ零を含む）に補償するので、分散による伝送容量の制限を受けることがなくなり、これにより、超高速大容量の波長多重光通信が可能となる。

【００６１】また、シングルモードファイバの分散スロープと分散値は前記の如く、分散補償ファイバと分散フラットファイバの条長をそれぞれ調整することにより補償するので、その分散スロープと分散値の補償調整が極めて容易となり、既設の1300nm帯零分散シングルモードファイバ網に使用されているシングルモードファイバの分散スロープと分散値が個々にばらついていても、これらのばらつきのある個々のシングルモードファイバの分

散スロープと分散値を共に零に補償することが容易となり、従来の問題点を一気に解決した実用性に富む通信リンクを提供することができる。

【００６２】第２の発明においても、既設の1300nm帯零分散シングルモードファイバ網のシングルモードファイバに分散補償ファイバをシングルモードファイバの分散値を零（ほぼ零を含む）にする条長でもって接続し、さらにこの接続リンクに波長1550nm近辺に零分散（ほぼ零分散を含む）をもつ分散シフトファイバを、前記分散補償ファイバの終端に残留する分散スロープを零（ほぼ零を含む）に補償する条長でもって接続するので、シングルモードファイバと分散補償ファイバと分散シフトファイバを接続して成る通信リンク（伝送リンク）の終端においては、分散スロープおよび分散値が共に零（ほぼ零を含む）に補償されたものとなり、前記第１の発明と同様に分散の制限を受けることなく、超高速大容量の波長多重通信が可能となる。

【００６３】しかも、分散値および分散スロープの補償は分散補償ファイバと分散シフトファイバの条長を調整することによって達成できるので、その分散スロープと分散値の補償調整は極めて容易となり、前記第１の発明と同様に既設の1300nm帯零分散シングルモードファイバ網に使用されている個々のシングルモードファイバに分散スロープと分散値が個々にばらついていても、容易にこれら個々のシングルモードファイバの分散スロープと分散値を共に零（ほぼ零を含む）に調整することが可能となり、実用性に富む超高速大容量の波長多重通信に適した通信リンクの提供が可能となる。

【００６４】さらに、第１の発明および第２の発明においては共に通信リンクの終端側で分散スロープと分散値を共に零に補償できるので、自己位相変調に起因する分散限界の影響を避けることができ、信頼性の高い超高速大容量長距離の波長多重通信が可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

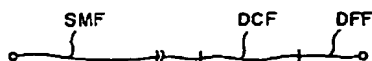
【図１】第１の発明の実施形態例の説明図である。

【図２】第２の発明の実施形態例の説明図である。

#### 【符号の説明】

SMF シングルモードファイバ  
DCF 分散補償ファイバ  
DFF 分散フラットファイバ  
DSF シフトファイバ

【図１】



【図２】



## フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 4 J 14/02

H 0 4 B 10/14

10/135

10/13

10/12